

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Provozní charakteristiky pozemních lanovek

Operating characteristics of funicular railways

Student: Tomáš Kučera

Vedoucí bakalářské práce: ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2013

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaložen (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě, 20.5.2013

.....
podpis studenta

Adresa trvalého pobytu:

Rumunská 4048/16
767 01 Kroměříž

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUČERA, T. *Provozní charakteristiky pozemních lanovek*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2013, 49 s. Bakalářská práce, vedoucí: ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.

Cílem bakalářské práce je návrh vozidla pozemní lanovky a provozních charakteristik poháněcí stanice pro provoz na zvoleném traťovém úseku. Pro stanovení charakteristik byly použity výpočty z bakalářského studia. Byly navrženy parametry vozidla a poháněcí stanice.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

KUČERA, T. *Operating characteristics of funicular railways*. Ostrava: Institut of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB -Technical University of Ostrava, 2013, 46 p. Thesis, Head: ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.

The object of bachelor thesis is concept of funicular vehicle and functional characteristics propellent station. For set characteristics were used calculations of bachelor study. Vehicle and propellent station were designed.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat za poskytnutí odborných konzultací při zpracování bakalářské práce vedoucímu ing. Jaromíru Širokému, Ph.D., doc. ing. Leopoldu Hrabovskému, Ph.D., a Tomáši Růžičkovi. Děkuji Vám.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Analýza technických řešení systémů pozemních lanovek a podobných dopravních systémů.....	12
1.1 Historie lanových drah	12
1.1.1 Lanová dráha na Letnou.....	12
1.1.2 Lanová dráha na Petřín.....	14
1.1.3 Lanová dráha Starý Smokovec – Hrebienok.....	16
1.2 Lanové dráhy	18
1.2.1 Rozdělení lanových drah.....	18
1.3 Pozemní lanová dráha	19
1.3.1 Rozdělení systémů.....	19
1.3.2 Pozemní lanovka	20
1.3.2.1 Charakteristické znaky pozemní lanovky.....	20
2 Analýza systému pohonu pozemních lanovek	22
2.1 Koncepce pohonu.....	22
2.2 Odporů proti pohybu	23
2.2.1 Odpor traťový.....	25
2.2.2 Odpor vozidlový.....	27
2.2.3 Odpor zrychlení.....	28
2.3 Poháněcí stanice.....	30
2.3.1 Schéma poháněcí stanice.....	30
2.3.2 Funkce poháněcí stanice.....	31
2.3.3 Výpočet výkonu motoru.....	31

2.4	Lana.....	32
2.4.1	Lana lanových drah.....	33
2.4.2	Kontrola bezpečnosti lana.....	33
3	Stanovení provozních charakteristik vybraného systému.....	35
3.1	Parametry vozidla.....	35
3.2	Lano.....	35
3.3	Třecí kotouč.....	38
3.4	Parametry poháněcí stanice.....	38
4	Výpočet parametrů pohybu vozidel na dopravním úseku.....	41
4.1	Výpočet průměru lana.....	42
4.2	Třecí kotouč.....	42
4.3	Výkon poháněcí stanice.....	42
4.4	Návrh pohonu poháněcí stanice.....	44
5	Provozně technické hodnocení.....	45
6	Závěr.....	46
7	Seznam použité literatury.....	47
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam tabulek.....	49

SEZNAM ZKRATEK

1. sv. válka	první světová válka
MHD	městská hromadná doprava
ČR	Česká republika
ČSR	Československá republika
SR	Slovenská republika
TEŽ	Tatranské elektrické železnice
ŽSR	Železnice Slovenskej republiky

Úvod

Pozemní lanové dráhy nepatří v ČR ke způsobu dopravy, který by byl využíván často. Lidé vnímají jízdu lanovky jako nevšední zážitek spojený se svou turistickou cestou. Lanovky mají své kouzlo a pevné místo v paměti občanů. V provozu zůstává už pouze pár pozemních lanovek. Každý, kdo navštívil Prahu, se alespoň jednou svezl lanovkou na Petřín. Pro svou jedinečnost ve spektru dopravních prostředků je lanovky potřeba udržovat a předávat dalším generacím.

1 Analýza technických řešení systémů pozemních lanovek a podobných dopravních systémů

Pozemní lanovky lze zařadit do skupiny speciálních drah (lanové dráhy, ozubnicové dráhy, pozemní lanovky). Tyto dráhy se používají v případech, kdy železniční dráha není schopna provozu s běžnými vozidly. Provoz dráhy ovlivňuje adheze. Spolehlivě lze provozovat dráhu jen do určitých hodnot sklonu trati. Hodnota sklonu je dána bezpečným přenosem tažných a brzdných sil ve styku kolo-kolejnice.

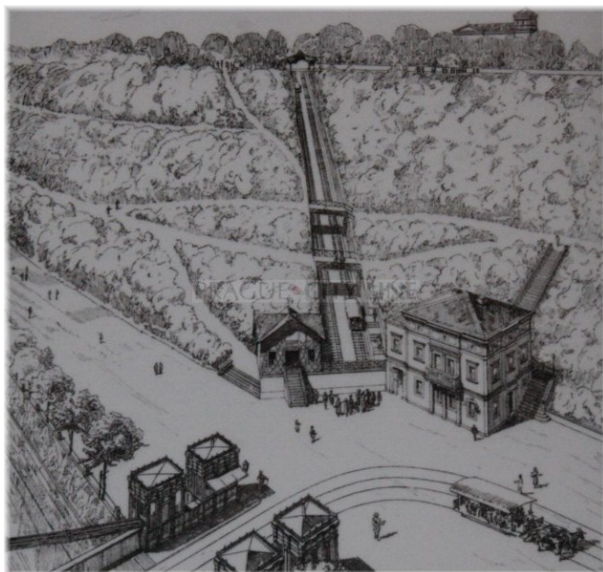
1.1 Historie lanových drah

Historie lanových drah na území ČR je obecně málo zpracované téma. Do značné míry je toho i škoda, neboť na našem území mají lanové dráhy poměrně dlouhou a zajímavou historii. Nejednou jsme se nacházeli na špičce v technologii pozemních lanových drah. Bohužel tyto doby již pominuly. Lanové dráhy mají to štěstí, že jsou rušeny jen výjimečně. Jsou do jisté míry i turistickou atrakcí pro návštěvníky ze zahraničí. Na našem území zůstala v provozu více než polovina pozemních lanovek. Co se týče nákladních lanových drah, je na našem území v provozu poslední nákladní lanová dráha, a to v Kunčicích nad Labem.

1.1.1 Lanová dráha na Letnou

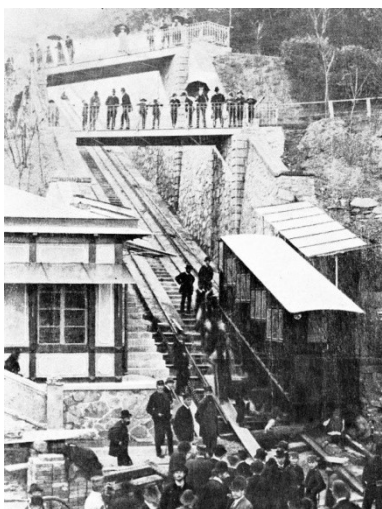
Jubilejní zemská výstava konaná v Praze v roce 1891 přinesla Čechům několik dopravních primátů. Jedním z nich bylo zprovoznění první elektrické tramvaje ing. Křižíkem. Výstava dala impuls pro vznik dvou pozemních lanových drah, na Petřín a méně známou lanovku na Letnou. Lanová dráha na Letnou byla otevřena jako první 31. května 1891. Dolní stanice byla postavena poblíž Švermova mostu (dnešní Letenský tunel). Dole na ni navazovala „koňka“ a nahoře elektrická tramvaj. Byla postavena jako dvojkolejná, bez výhybek. Rozchod koleje byl stanoven na 1000 mm s Abtovou ozubnicí uprostřed používanou pouze pro brzdění. Na délce trati 109 m dosahovalo stoupání 370 ‰. Pohon byl řešen vodní převahou, u kterého se pro jednu jízdu spotřebovalo asi 5 m³ vody, což kladlo vysoké požadavky na vodovod v horní poháněcí

stanici. Lanovka měla původně fungovat jen během konání výstavy, ale její provoz pokračoval i po jejím skončení. V roce 1900 převzaly provoz Elektrické podniky královského hlavního města Prahy, které již od počátku uvažovaly o přestavbě lanovky na elektrický provoz, který zkonstruoval v roce 1903 ing. Křížík. V roce 1915 byl provoz lanovky zastaven pro nedostatek pracovních sil. Zařízení lanovky ale zůstalo na svém místě. Po ukončení 1. sv. války se očekávalo brzké zprovoznění lanovky, ale lanovka byla v roce 1922 úředně zrušena. Soukromý provozovatel vypracoval projekt nahrazení lanovky pohyblivým zastřešeným chodníkem, který zrealizoval v letech 1924-26. Šlo o předchůdce dnešních eskalátorů, ovšem zcela v primitivní podobě (např. dřevěné schody). Eskalátor byl v roce 1935 bezplatně podle nájemní smlouvy převeden do vlastnictví Dopravních podniků. Dne 27. srpna 1935 byl provoz eskalátorů z důvodu jejich žalostného technického stavu zastaven. Zbytky eskalátoru byly zničeny při stavbě Letenského tunelu v letech 1949-51. V dnešních dnech můžeme spatřit pouze zbytky opěrných zdí v horní části trasy.



Obr. č. 1: Historický pohled

Vozy lanovky byly vyrobeny firmou Ringhoffer. Byly rozděleny do 4 oddílů a při plném obsazení mohly přepravit 40 cestujících, z toho 16 stojících. Vůz byl 6 m dlouhý, 1,8 m široký, vysoký 3,35 m a v jeho spodní části byla umístěna nádrž vody pro 5 m³. Původní vůz vážil 11,8 tuny.



Obr. č. 2: Vůz lanovky

Tabulka č. 1: Parametry lanovky na Letnou

Praha - Letná	
rozchod [mm]	1000
přepravní kapacita [osob.hod ⁻¹]	920
šikmá délka [m]	102
převýšení [m]	38
výkon hlavního pohonu [kW]	76
průměr dopravního lana [mm]	30
max. dopravní rychlost [m.s ⁻¹]	1,2
čas jízdy [min]	1,8
kapacita vozu	40
stoupání [‰]	370

1.1.2 Lanová dráha na Petřín

Za nejznámější českou lanovku můžeme s přehledem označit lanovku na Petřín. I ona byla vybudována u příležitosti Zemské výstavy v roce 1891. Návštěva Klubu českých turistů Paříže v roce 1899 dala podnět ke stavbě zmenšeniny známé Eiffelovy věže v Praze – tedy Petřínské rozhledny. Rozhledna se nacházela vysoko nad městem, proto byl ihned zadán projekt na stavbu lanové dráhy. Stavět se začalo v roce 1890, v roce 1891 byla stavba dokončena a po provedení všech zkoušek byla lanovka 25. července 1891 slavnostně otevřena. Lanovka byla dimenzována jako tříkolejná s rozchodem 1000

mm, uprostřed koleje s brzdící ozubnicí a pohonem vodní převahou. Vozy pro lanovku dodal Ringhoffer. Po začátku 1. sv. války byl provoz na lanovce zastaven stejně jako na letenské lanovce. Po válce nebyl provoz obnoven. V roce 1921 byl provoz definitivně zastaven a celá lanovka začala postupně chátrat. V roce 1923 se začala vést jednání o obnově a zároveň o přesunu vybavení letenské lanovky na petřínskou. O znovuvybudování se rozhodlo v roce 1931 u příležitosti výročí všesokolského sletu v roce 1932. Na přelomu let 1931/1932 firma ČKD provedla nákladnou rekonstrukci trati, dráha byla v horní části lanovky prodloužena z důvodu lepších přepravních požadavků. V rámci rekonstrukce byla přestavěna na dvojkolejnou se samočinnou Abtovou výhybkou uprostřed (ta nemá žádné mechanické části, vychází z toho, že každý ze dvou vozů má na jedné straně zdvojený okolek, který ho automaticky vede na „svou“ kolej). Současně s výhybkou byl změněn rozchod na současných 1435 mm (jako u jediné lanovky ČR). Pohon byl elektrický. Provoz na zrekonstruované 511 m dlouhé trati byl zahájen 5. června 1932. Provoz lanovky trval bez významných problémů až do roku 1965, kdy vlivem silných dešťů došlo k sesuvu půdy a provoz lanovky byl okamžitě zastaven. Následnou rekonstrukci překazil další sesuv půdy v roce 1967. V roce 1981 bylo rozhodnuto o obnově lanovky u příležitosti spartakiády v roce 1985. Probíhaly náročné stavební práce, strojní zařízení zůstalo původní, pouze byly dodány 2 nové vozy z Vagónky Studénka. Po úspěšných zkouškách byl provoz obnoven 15. července 1985. Lanová dráha je začleněna do pražské MHD. Lanovka se dodnes těší velkému zájmu cestujících všech věkových kategorií.



Obr. č. 3: Vůz lanovky na Petřín

Petřínská lanovka prošla za dobu své existence mnoha technickými řešeními. Původní lanovka byla postavena s rozchodem 1000 mm, který byl při přestavbě trati změněn na dnešních 1435 mm. Značných změn doznaly v průběhu let i vozy. Původní dřevěné vozy byly vyměněny za nové, moderní kovové vozy. Jsou 12 100 mm dlouhé, 2 400 mm široké a mají 25 míst k sezení a 75 ke stání. V čelních kabinách je stanoviště obsluhy. Původní pohon vodní převahou je již nefunkční, pohon je řešen elektrickou poháněcí stanicí.

Tab. č. 2: Parametry lanovky na Petřín

Praha - Petřín	
rozchod [mm]	1435
přepravní kapacita [osob.hod ⁻¹]	1400
šikmá délka [m]	511
vodorovná délka [m]	493
převýšení [m]	130
výkon hlavního pohonu [kW]	106
průměr dopravního lana [mm]	35,5
max. dopravní rychlost [m.s ⁻¹]	4
čas jízdy [min]	5
kapacita vozu [osob]	101
stoupání [‰]	295

1.1.3 Lanová dráha Starý Smokovec – Hrebienok

První a jediná lanovka ve vlastnictví tehdejších ČSD. Od konce minulého století se uvažovalo o stavbě lanových drah pro zpřístupnění Vysokých Tater. Jako první se dočkal realizace trolejbus, ale není o něm přesně známo, kdy jezdil. Uvádí se pouze mezi lety 1902-1908. Za trolejbus byla vyprojektována náhrada v podobě elektrické železnice, která vedla až na Hrebienok. V roce 1906 došlo ke stavbě 2109 m dlouhé lanové dráhy s rozchodem 1000 mm. Od začátku byl pohon elektrický. Díky finančním potížím byla lanovka otevřena až spolu s elektrickou železnicí z Popradu, a to 20. prosince 1908. Stavba byla dokončena společností Phoebus. Během 1. sv. války se vlastníkem stala maďarská banka Egisz. V roce 1922 byla lanovka odkoupena pražskou Legiobankou. Společně s elektrickou železnicí tvořila podnik Tatranské elektrické vicinální dráhy (známá zkratka TEVD). Dne 13. října 1948 dochází ke znárodnění dráhy. Do majetku ČSD se lanovka dostala až 1. ledna 1950, technicky ale zaostávala.

V roce 1965 se konalo ve Vysokých Tatrách mistrovství světa v klasickém lyžování a okamžitě se objevilo mnoho projektů na rekonstrukci stavby a zároveň i na novostavby. Jediná realizace byla pouze znovuzprovoznění ozubnicové dráhy ze Štrby na Štrbské Pleso. V letech 1968-1969 provedla italská firma Ceretti-Tanfani rekonstrukci dráhy. Byly na ní dosazeny nové vozy s kapacitou 128 cestujících a současně se změnila délka lanovky na 1945 m. Od roku 1970 jezdí dráha beze změn až do dnešních dnů. Jediné změny lze pozorovat v označení a číslování dráhy (42d, 42q, 423). Lanovka je nyní majetkem ŽSR a je v provozu pod číslem 203.



Obr. č. 4: Vůz lanovky Starý Smokovec - Hrebienok

Tab. č. 3: Parametry lanovky

Starý Smokovec - Hrebienok	
rozchod [mm]	1000
přepravní kapacita [osob.hod ⁻¹]	1300
šikmá délka [m]	1952
převýšení [m]	165
výkon hlavního pohonu [kW]	340
průměr dopravního lana [mm]	18,5
max. dopravní rychlost [m.s ⁻¹]	10
čas jízdy [min]	4
kapacita vozu	160
stoupání [‰]	154

1.2 Lanové dráhy

Výraz „lanová dráha“ používáme pro dva zcela odlišné typy dopravních zařízení, pro pozemní a visutou lanovou dráhu. Oba druhy dopravy mají společný základ v dopravním laně. To hraje nejvýznamnější úlohu – buď „pohání“ vozy na kolejích nebo nese kabinky. Pozemní lanové dráhy mají lano, které není nekonečné a je na obou koncích zavěšeno na vozy lanovky.

Lanová dráha je šikmá kolejová doprava. Pohybují se po ní vozidla, která jsou poháněna tažným lanem. Slouží k dopravě tam, kde je potřeba překonávat velká stoupání trati. Pro hodně lidí je cesta lanovkou velký zážitek. Lanová dráha má vždy nejméně 2 stanice, a to horní a dolní. Některé lanovky mají ještě mezistanice.

1.2.1 Rozdělení lanových drah

Podle druhu jízdy a rozlišujeme tyto druhy lanovek:

- Visutá lanová dráha – vozidlo (kabina nebo sedačka) se nepohybuje po zemi nebo kolejích, ale je během jízdy jen zavěšeno na lanech.
- Kabinová – obvykle dvě zavěšené kabiny pohybující se vzduchem protisměrně.
- Kabinková (gondolová) – na dopravním, event. tažném laně jsou zavěšeny v řadě kabinky pro 2 - 16 osob.
- Sedačková – nosné lano je zároveň tažným, na něm jsou zavěšeny v řadě sedačky pro 1, 2, 3, 4, 6 nebo 8 osob. Mohou umožňovat i přepravu lyžařů s lyžemi na nohou. „Vozidlem“ této dráhy je každý závěs se sedačkou.

Hybridní – na laně se pohybují i kabinové i sedačkové lanovky.

- Pozemní lanová dráha – obvykle dva vozy pohybující se po kolejích každý v opačném směru.

Podle druhů lan se visuté lanovky rozdělují na:

- Jednolanové – funkce nosného a tažného lana je sloučena do jediného dopravního lana

- Dvoulanové – vozidla jsou tažena na jednom nebo více tažných lanech a zároveň jsou nesená jedním nebo více nosnými lany.

Podle oběhu vozidel se lanovky rozdělují na:

- Oběžné – vozidla se na konci otáčejí do protisměru, bývá jich větší počet (typicky u sedačkových lanovek)
- Kyvadlové – vozidla se neotáčejí, ale vracejí se stejně orientovaná. Zpravidla jsou na dráze dvě vozidla, která se míjejí uprostřed délky dráhy, ale mohou být i lanovky jednovozidlové (podobné výtahu).

Podle způsobu připojení vozů na lano se zejména oběžné lanovky rozdělují na:

- Neodpojitelné – vozidla jsou pevně uchycena na dopravní lano, ve stanicích se neodpojují.
- Odpojitelné – vozidla jsou odpojitelně uchycena na dopravní nebo tažné lano, ve stanicích se od lana odpojují a pohybují se nižší (staniční) rychlostí, čímž je zajištěno komfortnější a bezpečnější nastupování a vystupování cestujících.

Podle účelu lze lanovky rozlišit na:

- Osobní (zpravidla turistické)
- Nákladní (průmyslové, obslužné)

1.3 Pozemní lanová dráha

Pozemní lanová dráha (pozemní lanovka) je šikmá kolejová dráha. Charakteristickým znakem je vozidlo nesené a vedené kolejnicovým pásem, ale pohon vozidla je řešen lanovým systémem. Slouží k dopravě tam, kde je potřeba překonávat velká stoupání. U lanové dráhy stoupání většinou nepřekračuje 1000 ‰.

1.3.1 Rozdělení systémů

Podle počtu lan dělíme systémy na jednolanové a dvoulanový. Zásadní rozdíl mezi těmito systémy je v realizaci použité záchranné brzdy. U jednolanového systému je brzdná síla realizována pomocí kleštiny, která obepne temeno kolejnice a vyvolá tím brzdný účinek. Oproti tomu dvoulanový systém je tvořen dvěma brzdnými lany, která

jsou pevně ukotvena na podpěrách v horní a dolní stanici, a jedním lanem poháněcím umístěným na čele vozidla, které je poháněno horní stanicí. Nouzové brzdění je vyvoláno sevřením čelistí kolem brzdných lan. Brzdný účinek je vyvolán pomocí zvýšené ho tření mezi čelistí a lanem.

1.3.2 Pozemní lanovka

Pozemní lanovka je kolejové vozidlo využívající principu kombinace železnice (vozidlo je neseno a vedeno kolejnicovým pásem) a visuté lanovky. Vozidlo se pohybuje pomocí tažného lana, které je uloženo mezi nosnými kolejnicemi.

1.3.2.1 Charakteristické znaky pozemní lanovky

Pozemní lanovka má 4 charakteristické znaky, mezi které patří kyvadlový provoz, vedení lana na tažném úseku, horní napájecí stanice a vozidlo.

Kyvadlový provoz

Při pohybu obou vozidel se síly od hmotnosti vzájemně „vyruší“, a tím dochází k pohybu lanovek, které se vzájemně přetahují pomocí tažného lana. Pohon poháněcí stanice v horní stanici překonává odpory z pohybu vozidel.

Vedení lan na traťovém úseku

Lana jsou vedena na úrovni koleje pomocí kladek. Jsou umístěna ve volném prostoru mezi kolejnicemi. Jedno lano je vždy tažné (slouží k pohybu lanovky), dvě lana jsou brzdná (zajišťují bezpečnost). Tažné lano se pohybuje vůči kolejnici. Brzdná lana se nepohybují. Jsou uložena pevně v podpěrách, aby neležela přímo na terénu. Zachycují podélné síly od pohybu vozidel.

Poháněcí stanice

Slouží k pohonu lanovky a je umístěna vždy v horní stanici. Skládá se z motoru, převodové skříně, regulovatelného brzdového systému, lanového bubnu a pomocných pohonů. Stanice zajišťuje kyvadlový provoz na trati.

Vozidlo

Vozidlo lanovky slouží k přepravě osob na trati a jeho konstrukce je uzpůsobena stoupání trati, po které se pohybuje. Vnitřní prostor vozidla je uspořádán na oddíly s podlahou v různé úrovni. V každém oddílu se nachází jednokřídlé dveře, každé na jednu stranu, otevírané a zavírané řidičem drážního vozidla. Konstrukce podlahy je řešena schodovitě v souladu se stoupáním trati.

Jízdu lanovky zabezpečuje automatický systém se strojníkem v horní poháněcí stanici. Řidič drážního vozidla (signalista) vykonává pouze dozorovou funkci. Ovládá pomocné systémy vozidla (vytápění, otevírání dveří, rychlost). Tyto systémy jsou nezávislé na vnějším zdroji energie. Mezi řidičem vozidla a strojníkem musí být zabezpečeno komunikační spojení pomocí komunikačního drátu umístěného na vozidle. Vozidlo lanovky je čtyřnápravové podvozkové bez primárního vypružení podvozku. K prvnímu podvozku vozidla je připojeno tažné lano, brzdná lana jsou umístěna na druhém podvozku posledního vozu. Podélná síla lana je přenášena pomocí čepu na podvozek vozidla.

Každá pozemní lanovka je tvořena dvěma vozidly, která se pohybují proti sobě po jedné koleji a křižují se ve výhybně, která je zpravidla umístěna v polovině trati. Problém nastává v situaci mimo výhybnu, kdy je na trati zastávka. V tomto případě musí zastavit i druhý vůz, i když se nenachází v zastávce a čeká na výstup cestujících z druhé lanovky. Poté opět pokračuje v pohybu. Tuto situaci lze vidět na zastávce Nebozítek na lanovce na Petřín v Praze. Systém pohonu lanovky musí být nastaven tak, aby docházelo k míjení vozidel ve stejný okamžik při výjezdu z výhybny. S tímto problémem úzce souvisí reakce napínacího systému na dilataci tažného lana vlivem různých teplot v ročních obdobích.

2 Analýza systému pohonu pozemních lanovek

Prvním známým způsobem pohonu je systém pohonu vodní převahou. Spočívá v umístění nádrže ve spodní části vozu. V horní poháněcí stanici byla nádrž naplněna. Vůz naplněný vodou poté vytáhl druhý vůz nahoru. V dolní stanici se voda vypouštěla automaticky nárazem na speciálně zkonstruovaný nástavec.

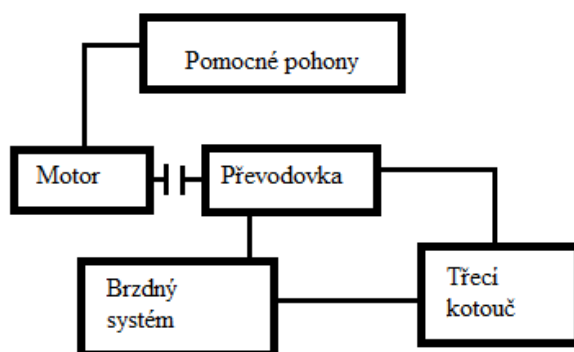
V dnešní době se používá výhradně elektrický pohon lanovek. Základní myšlenka pohonu pozemní lanovky spočívá v připojení dvou vozů k sobě pomocí lana, které je navinuto na kladku v horní poháněcí stanici. Protiváha vozů minimalizuje energii potřebnou k pohybu vozu nahoru.

2.1 Koncepce pohonu

V dnešní době jsou pro provoz pozemních lanovek používány dvě základní koncepce pohonu. Zásadní rozdíl, jak je patrné z rozdělení, spočívá v použití prvku, na který je lano při provozu lanovky navíjeno. Navíjení lana na třecí kotouč pracuje s „konečným“ lanem, které se navíjí na třecí kotouč, u něhož se přenos tažné síly uskutečňuje pomocí tření. Druhým způsobem je navíjení lana na lanový buben.

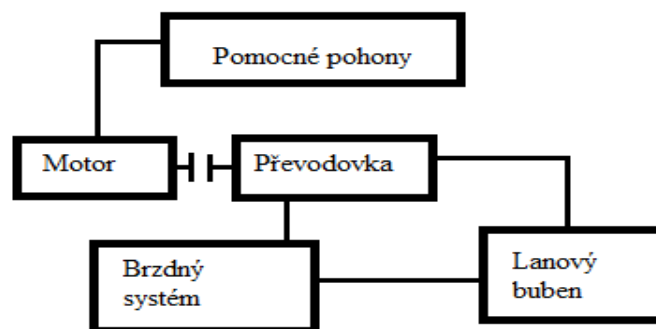
Podle způsobu navíjení lana rozdělujeme způsob pohonu na:

a) Pohon třecím kotoučem



Obr. č. 4: Schéma pohonu třecím kotoučem

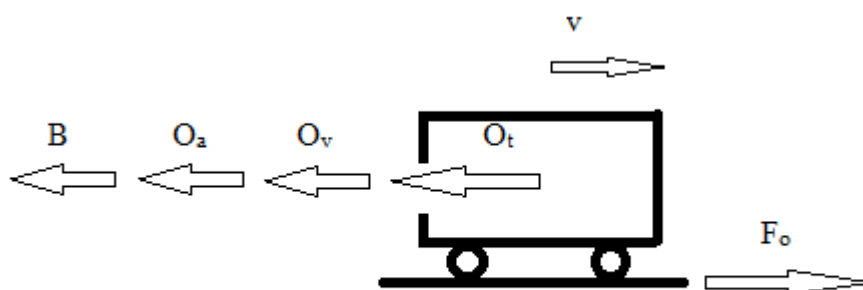
b) Pohon lanovým bubnem



Obr. č. 5: Schéma pohonu lanovým bubnem

2.2 Odpory proti pohybu

Pro návrh lana lanovky je potřeba znát minimální tažnou sílu, která je vyvíjena na třecím prvku v poháněcí stanici. Určíme ji ze vztahu $F = \Sigma O = O_s + O_{val}$.



Obr.č.6: Schematické znázornění odporů

Pro pohyb vozidla předpokládáme zjednodušení. Síla F_o a síla B nepůsobí současně. Síla B je vyvolána brzdným účinkem. Síla F_o je vyvozena působením M_k od trakčního motoru a vzniká ve styku kolo-kolejnice.

Pohyb vozidla je dán základní rovnicí

$$X: F_o - \Sigma O = 0 \quad (2.1)$$

kde:

F_o - tažná síla [N]

ΣO - součet odporů [N]

G - tíhová síla [N]

Vyjádření odporů ΣO lze dále rozepsat na jednotlivé dílčí odpory a zapsat rovnicí ve tvaru $\Sigma O = O_t + O_v + O_a$

Při každé jízdě vozidla dochází k překonávání sil, které na něj působí. Tyto síly nazýváme odpory. Odpory dále dělíme na:

a) odpory aktivní

b) odpory pasivní

Odpory aktivní působí mezi prvotním zdrojem energie (spalovací motor, trakční motor) a místem realizace tažné síly, tj. mezi stykem kolo-kolejnice. Jsou dány konstrukčním a technickým řešením vozidla a nejsou závislé na žádných vnějších vlivech při provozu vozidla. Zmenšují výkon hnacího vozidla a představují η_{pv} . Pasivní odpory jsou dány působením okolí na pohyb daného vozidla.

Dále lze odpory rozdělit na:

a) odpory traťové

b) odpory vozidlové

Odpory traťové závisí na parametrech sklonu trati a jejího uspořádání. Odpory vozidlové jsou dány konstrukcí vozidel, tvarem a rychlostí, kterou se pohybují.

2.2.1 Odpor traťový

Zdroj: http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd_ram.htm

Je dán výškovým, směrovým a stavebním uspořádáním trati. Tento odpor je funkcí polohy vlaku na trati.

Do traťových odporů zahrnujeme:

- odpor sklonu - O_{skl}
- odpor oblouku - O_{obl}
- odpor tunelu - O_{tun}

Výškové uspořádání trati

Odpor sklonu

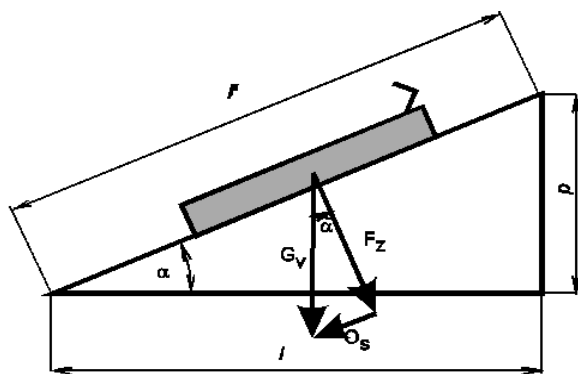
Základním parametrem je sklon trati s

$s > 0$ - vozidlo se pohybuje do stoupání

$s < 0$ - vozidlo se pohybuje po spádu

$s = 0$ - vozidlo se pohybuje po rovině

Při jízdě vozidla se síla G rozkládá podle obrázku



Obr. č. 7: Odpor sklonu

Odpor sklonu je vyjádřený silou O_s . Tato síla je rovnoběžná s jízdou vozidla. Při jízdě do stoupání působí proti směru pohybu, při jízdě po spádu působí ve směru jízdy.

$$O_s = G_v \cdot \sin \alpha = m_v \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (2.2)$$

kde:

G_v - tíha vozidla [N]
 m_v - hmotnost vozidla [kg]
 g - tíhové zrychlení [9.81 m.s⁻²]

Velikost sklonu trati vyjadřujeme v promile. Jednotka promile [‰] udává převýšení 1 m na délce úseku trati 1000 m.

$$\frac{p}{l'} = \sin \alpha = \frac{s}{1000} ; \Rightarrow s = 1000 \cdot \sin \alpha \quad [‰] \quad (2.3)$$

kde:

p - převýšení trati [m]
 l' - délka sklonového úseku [m]
 s - sklon trati [‰]

V praxi ovšem používáme pro vyjádření délky trati její vodorovný průmět, proto sklon s určíme ze vztahu

$$\frac{p}{l} = \tan \alpha = \frac{s}{1000} ; \Rightarrow s = 1000 \cdot \tan \alpha \quad (2.4)$$

kde:

p - převýšení trati [m]
 l - průmět délky sklonu do vodorovné roviny [m]
 s - sklon trati [‰]

Pro vozební výpočty používáme vyjádření vztažené na jednotku tíhy vozidla - *součinitel odporu trati*.

$$O_t = \frac{Ot}{G} = \frac{Gv \cdot tg \alpha}{Gv} = \frac{s}{1000} \quad [-] \quad (2.5)$$

Směrové uspořádání trati

Odpor oblouku

Je vyjádřen pomocí přídavného sklonu oblouku S_{obl} pro rozchod 1435 mm a $v < 200$ km.hod⁻¹. Při průjezdu nápravy železničního vozu obloukem dochází ke vzniku reakce mezi kolem a kolejnicí, která způsobuje rázy a snaží se nápravu vytlačit z koleje.

$$S_{obl} = \frac{600}{R} \quad [‰] \quad (2.6)$$

Stavební uspořádání trati

Odpor tunelu

Tunel je dlouhá lionová stavba ovlivňující proudění vzduchu. Vliv tunelu započítáváme pouze pro tunel delší než 100 m.

Pro jednokolejný tunel uvažujeme $S_{t1} = 2‰$, pro dvoukolejný tunel $S_{t2} = 1 ‰$. Pro vozidla metra se odpor pohybuje $S_{metro} = (5-7)‰$.

2.2.2 Odpor vozidlový

Vyjadřuje chodové vlastnosti vozidel. Zastupuje shrnutí tří vlivů - vlivu valení, tření v ložiscích a prostředí. Má parabolický průběh a závisí na rychlosti vozidla.

Vliv valení

Při dotyku kolo-kolejnice dochází k deformacím, protože kolo a kolejnice nejsou dokonale tuhá tělesa. Nastává bodový dotyk kolo-kolejnice, který se projeví jako dotyková ploška ve tvaru elipsy o velikosti asi 1,5 cm². Odpor je konstantní a není závislý na rychlosti.

$$O_v = G_v \cdot o_v = m_v \cdot g = (A + B \cdot V + C \cdot V^2) \quad (2.7)$$

kde:

m_v - hmotnost vozidla [kg]

o_v - součinitel vozidlového odporu [-]

g - tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

A, B, C - konstantní hodnoty součinitele vozidlového odporu [-]

V - rychlost [$km \cdot hod^{-1}$]

Vlivy tření v ložiscích a vliv prostředí jsou funkcí rychlosti.

2.2.3 Odpor zrychlení

Skládá se ze dvou složek, z odporu posuvných hmot a odporu rotačních hmot. Odpovídá druhému Newtonovu zákonu, který říká, že proti změně rychlosti vozidla působí síla.

Obecně můžeme říct, že setrvačnou sílu F_s můžeme nahradit odporem posuvných hmot

O_{pos} a zapsat jej ve tvaru $O_{pos} = m \cdot a$. Odpor ze zrychlení rotačních hmot vyjádříme silou O_{rot} a dosadíme do rovnice pohybu kola:

$$O_{rot} \cdot r = M_{sk} = I_k \cdot \varepsilon_k \quad (2.8)$$

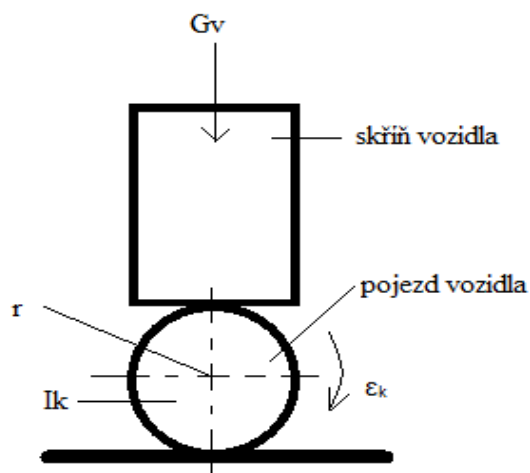
kde:

O_{rot} - odpor zrychlení posuvných hmot [N]

M_{sk} - moment setrvačnosti soukolí [$kg \cdot m^2$]

I_k - moment setrvačnosti kola [$kg \cdot m^2$]

ε_k - úhlové zrychlení kola [$rad \cdot s^{-1}$]



Obr. č. 8: Odpor zrychlení

Osamostatníme O_{rot} na levé straně rovnice tím, že poloměr kola r převedeme na pravou stranu rovnice.

$$O_{rot} \cdot r = I_k \cdot \frac{a}{r}$$

$$O_{rot} \cdot r = I_k \cdot \frac{a}{r^2}$$

Provedeme celkový součet.

$$O_a = O_{pos} + O_{rot} = m_v \cdot a + I_k \cdot \frac{a}{r^2} = m_v \cdot a \cdot \left(1 + \frac{I_k}{m_v \cdot r^2}\right) \quad (2.9)$$

kde:

a - zrychlení vozidla [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

r - poloměr kola [m]

m_v - tíha vozidla [N]

Výraz $\left(\frac{I_k}{m_v \cdot r^2}\right)$ označujeme řeckým písmenem ρ a nazývá se součinitel vlivu rotujících

hmot. Hodnotou ρ nahradíme výraz v závorce $\Rightarrow m_v \cdot a \cdot (1 + \rho)$. Zrychlení a

nahradíme podílem derivace rychlosti a derivací času $\frac{dv}{dt}$, hmotnost vozidla nahradíme

podílem tíhy vozidla a gravitačního zrychlení $\frac{G_v}{g}$ a konečný vztah pro odpor zrychlení

vyjádříme jako:

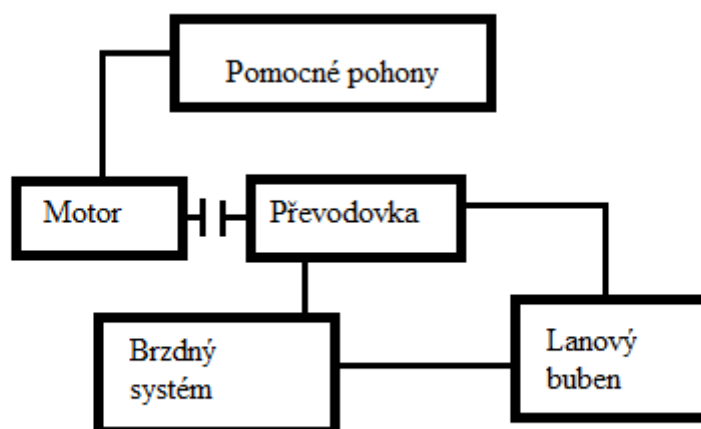
$$O_a = \frac{G_v}{g} \cdot (1 + \rho) \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{N}] \quad (2.10)$$

2.3 Poháněcí stanice

Každá lanová dráha je tvořena nejméně dvěma stanicemi - hnací a vratnou. Mohou zde být i mezistanice. Můžeme je rozdělit na horní, spodní, průjezdní, nástupní, výstupní.

2.3.1 Schéma poháněcí stanice

Základ poháněcí stanice lanovky tvoří elektromotor, který vykonanou prací pohání další části stanice. Pohání pomocné pohony systému lanovky. Je na něj připojen brzdový systém, který je tvořen třemi druhy brzd - provozní brzdou na hřídeli motoru, nouzovou brzdou umístěnou na bubnu a nouzovou brzdou na vozidle. Dále je motor připojen pomocí spojky k převodovce, se kterou pohání lanový buben. Lanový buben je tvořen ozubeným věncem, kolem kterého je dvakrát opásáno lano a je doplněn o mechanickou brzdu, která na něj působí přímo.



Obr. č. 9 : Schéma poháněcí stanice

2.3.2 Funkce poháněcí stanice

Poháněcí stanice plní celou řadu funkcí, které souvisí jak s pohonem, tak i s bezpečností. Mezi ně patří:

- a) musí pohánět lana pomocí pohonu
- b) udržovat lano v předepjatém stavu na konstantní napětí, aby bylo zabráněno prokluzu
- c) kdykoliv zabrzdit celou dráhu
- d) umožnit pohodlný nástup a výstup cestujících
- e) umožnit kotvení nosných lan

2.3.3 Výpočet výkonu motoru

Vypočítanou sílu F_{\min} lze nazvat jako sílu T_1 . Podle Eulerových vztahů pro tření lze konstatovat, že síla v odbíhající větvi T_2 je závislá na velikosti síly T_1 , součiniteli tření a úhlu opásání α .

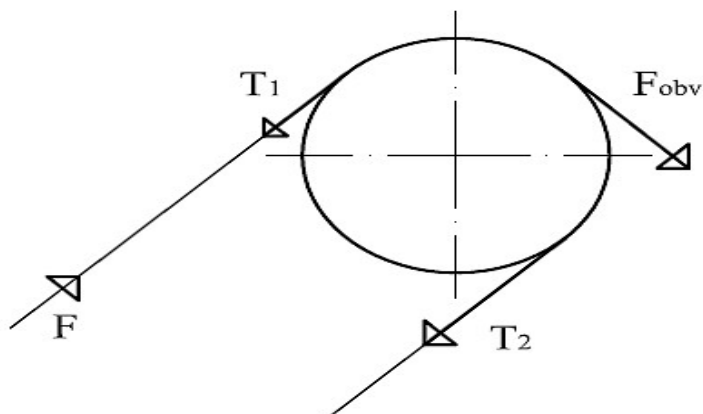
$$\frac{T_1}{T_2} = e^{f \cdot \alpha}$$

Osamostatníme sílu T_1 .

$$T_1 = T_2 \cdot e^{f \cdot \alpha}$$

Dosazením síly T_1 dostaneme konečný tvar vzorce pro výpočet obvodové síly na třecím kotouči, která bude použita pro výpočet výkonu motoru poháněcí stanice.

$$F_{obv} = T_1 - T_2 = T_2 \cdot e^{f \cdot \alpha} - T_2 = T_2 \cdot (e^{f \cdot \alpha} - 1) \quad (2.11)$$



Obr. č. 10: Znázornění obvodové síly na kotouči

Celkový výkon motoru poháněcí stanice určíme ze vztahu:

$$P = \frac{F_{obv} \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad [\text{N}] \quad (2.12)$$

kde:

F - skutečná přenášená obvodová síla $[\text{N}]$

v - obvodová rychlost $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

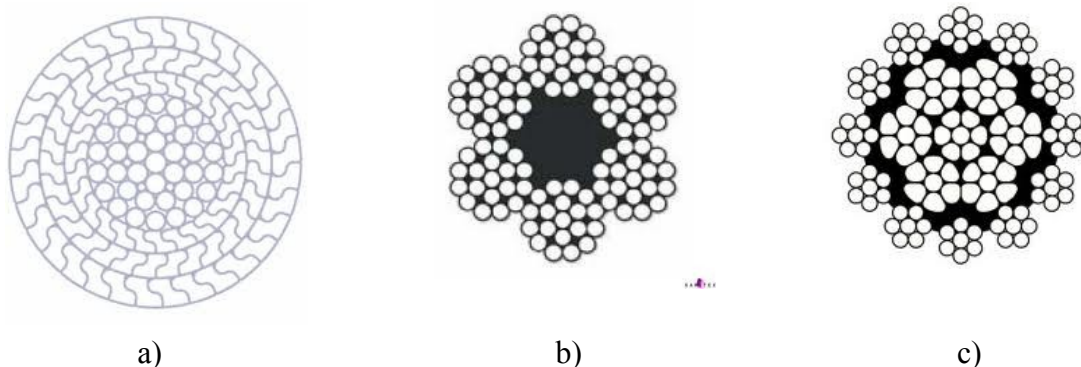
2.4 Lana

Lano je jedním z nejstarších zařízení, které je používáno v dopravě. Jsou vyrobena z různých materiálů - textilních, umělohmotných, kovových. V provozu lanových drah se používají lana ocelová.

Ocelové lano je vyrobeno z tažných ocelových drátů, které jsou vinuty v prameny.

Nejčastěji 6 pramenů je svinuto v lano. Některá lana jsou jednopramenná. Používají se ve stavebnictví jako tažný prvek. Naprostá většina lan je vícepramenných.

Někdy jsou celá lana splétána v další lana a vytvoří lano kabelové.



Obr.č.11: Lana používaná pro lanové dráhy

a) lano uzavřené, b) lano šestipramenné, c) lano vícepramenné

Duši lana tvoří středový a jádrový drát, jádro pramene a nekovová vložka.

2.4.1 Lana lanových drah

Mohou být tažná, nosná a napínací, pro osobní dopravu. Jako nosná jsou nejčastěji použita lana jednopramenná uzavřená o pevnosti od 880 – 1440 MPa. Jsou namáhána tlakem, ohybem a otláčením. Uzavřená lana se vyznačují hladším povrchem a mají vyšší životnost. Jako tažná lana se používají výhradně šestipramenná lana s pevností od 1550 do 1770 MPa.

2.4.2 Kontrola bezpečnosti lana

Bezpečností lana rozumíme bezrozměrné číslo, které je dáno podílem jmenovité únosnosti lana a jeho maximálním statickým zatížením.

$$k_b = \frac{N_j}{F} \cdot l \quad (2.13)$$

kde:

N_j – jmenovitá únosnost lana	[N]
i – počet lan	[N]
F – maximální statické zatížení	[N]

V provozu pozemní lanové dráhy se vyskytuje mnoho nebezpečných případů spojených s provozem lana, např. překročení dovolené meze napnutí a kolísání délky lana, překročení dovolené meze tlaku v hydraulickém napínacím zařízení, zablokování nebo zachycení, které zabrání volnému pohybu lana, porucha prvků napínacího zařízení v důsledku nesprávného dimenzování. Všechny případy jsou pro provoz lanovky nepřijatelné a musí být důsledně řešeny a odstraněny.

3 Stanovení provozních charakteristik vybraného systému

V praktické části bakalářské práce budou navrženy a vypočteny charakteristiky pro zvolený traťový úsek.

Do provozních charakteristik jsem zvolil návrh a výpočet 5 základních prvků systému pozemní lanovky. Tyto prvky jsou vozidlo, třecí kotouč, lano, poháněcí stanice a brzda celého systému.

3.1 Parametry vozidla

Vozidlo pozemní lanovky je konstruováno jako dvounápravový vůz lehké stavby. Hlavní roli zde hraje hmotnost vozu, která nesmí být vysoká z důvodu překonávání odporů při pohybu vozidla. Parametry navrženého vozidla jsou uvedeny v tabulce. Jako průměrnou hmotnost člověka bereme 75 kg. Při obsaditelnosti 40 osob se celková hmotnost vozidla a cestujících rovná 15 t.

Tab.č.4: Parametry vozidla

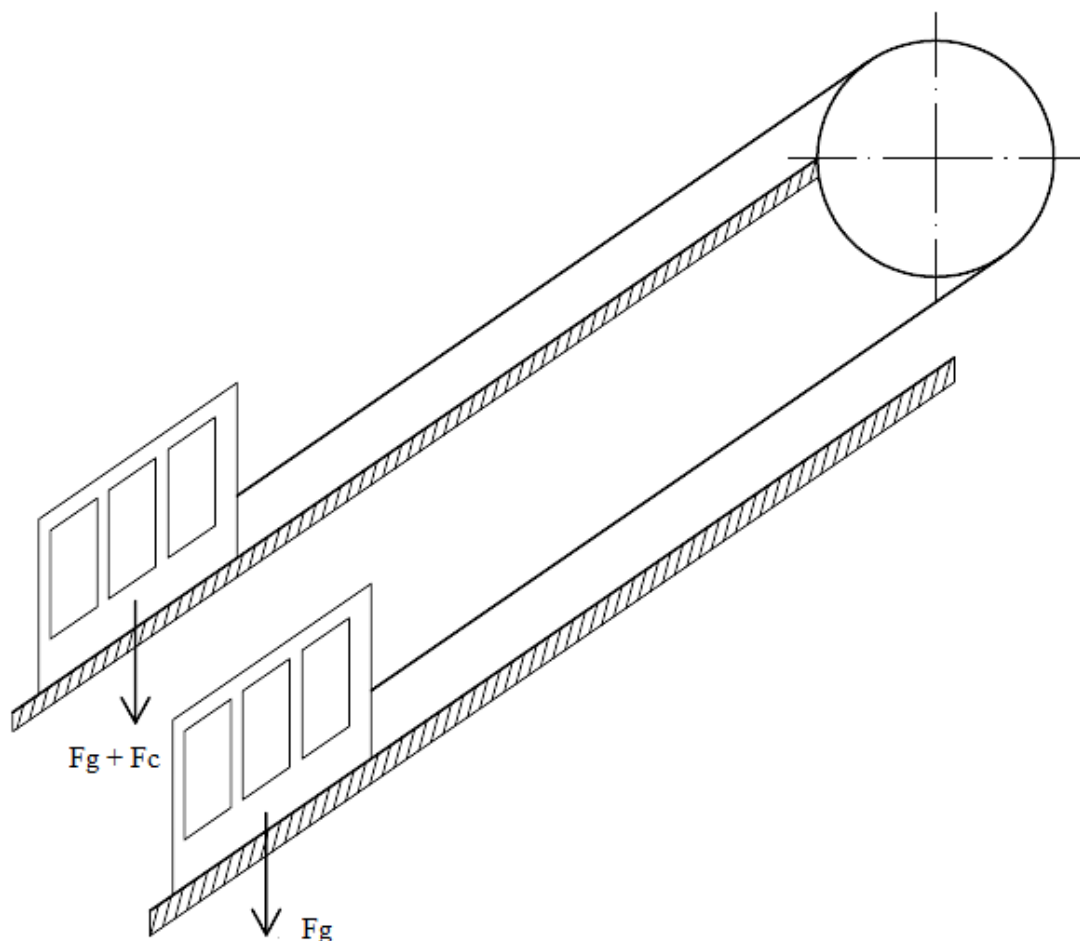
Délka	7	[m]
Výška	3,4	[m]
Šířka	2	[m]
Obsaditelnost	40	[osoby]
Hmotnost	12	[t]
Hmotnost celková	15	[t]

3.2 Lano

Na volbu lana je kladen velmi velký důraz. V systému pohonu lanovky se stává hlavním prvkem pro přenos tažné síly a zároveň bezpečnostním prvkem. Jeho návrh se řídí normou ČSN EN 12 385 - 8. Lano volíme v závislosti na síle, kterou vypočítáme jako součet odporů sklonu, vozidla a poháněcích kladek. Únosnost lana musí být větší než je tato vypočítaná síla.

Pro návrh dopravního lana vycházíme z předpokladu, že síla na laně, která se při pohybu vozu objevuje, je úměrná součtu odporů působících při jízdě lanovky.

Konkrétní příklad situace pro zvolený traťový úsek:



Obr.č.12: Konkrétní příklad situace pro zvolený traťový úsek

Máme dvě lanovky jedoucí navzájem proti sobě. Převážná kapacita lanovky č. 1, nacházející se v dolní poháněcí stanici, je vyčerpána. Lanovka č. 2 umístěná v horní stanici jede „po prázdně“.

Při pohybu lanovky působí O_s a O_v , odpor sklonu a vozidlový odpor. Velikost odporu sklonu je dána tíhou cestujících, vzájemné odpory tíhy obou lanovek se vyruší. Oba tyto odpory se projevují na velikosti síly na laně lanovky. Vozidlový odpor působí proti pohybu lanovky a tudíž je započítán dvakrát. Odpor lan a poháněcích kladek je zohledněn navýšením celkové síly odporů o 10 %. Velikosti působící síly lana na každou kladku není možné exaktně spočítat. Při rozjezdu lanovky se lano napíná, je tak po kladkách víceméně vedeno a kladky roztočí pouze minimálně. Můžeme říct, že

odpor je zanedbatelný, ale ve výpočtu jej zohledníme.

$$F_{min} = O_s + 2.O_v + O_L \quad [N] \quad (3.1)$$

kde:

O_s - odpor sklonu [N]

O_v - vozidlový odpor [N]

O_L - odpor lana a kladek [N]

Odpory sklonu tíhy vozidla se odečtou a působí pouze síla od tíhy cestujících. Vozidlový odpor rozepíšeme na tíhu vozidla m_v a tíhu cestujících m_c . Působí zde tíha osob vynásobená gravitačním zrychlením g a součinitelem vozidlového odporu o_v .

Rovnici (4.1) dále upravíme do tvaru:

$$F_{min} = (m_v + m_c - m_v).g.\sin \alpha + 2.(m_v + m_c).g.o_v \quad [N] \quad (3.2)$$

kde:

m_v -váha vozidla [N]

m_c - váha cestujících [N]

$\sin \alpha$ - úhel stoupání [°]

g - gravitační zrychlení [9,81m.s⁻²]

o_v - vozidlový odpor [N]

Vypočítanou sílu F_{min} vynásobíme součinitelem bezpečnosti k_b , který má pro dvě lana pohonu systému lanovky hodnotu 16.

$$F = 16 . F_{min} \quad (3.3)$$

kde:

F - síla v laně [N]

F_{min} - minimální síla v laně [N]

Podle velikosti síly F navrhne lano podle ČSN EN 12 385-8. Síla v laně musí být menší než je jmenovitá únosnost lana.

$$F < F_{jm} \quad (3.4)$$

kde:

F - síla v laně [N]

F_{jm} - jmenovitá únosnost lana [N]

3.3 Třecí kotouč

Pro přenos tažné síly lana v poháněcí stanici jsem zvolil dvoudrážkový, půlkulový třecí kotouč, a to z důvodu nutnosti použití minimálně dvou lan z důvodu bezpečnosti, jejichž průměr musí být větší než 8mm.

Průměr třecího kotouče je přímo závislý na velikosti průměr dopravního lana. Musí být minimálně 40x větší než průměr lana.

$$D_k = 40 \cdot d \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

kde:

D_k - průměr třecího kotouče [mm]

d - průměr lana [mm]

3.4 Parametry poháněcí stanice

Podle vypočítaného výkonu podle vzorce navrhne asynchronní motor, převodovku a spojku pro poháněcí stanici.

Převodovku budu navrhovat podle jmenovitých otáček motoru n_{jm} . Celkový převodový poměr převodovky se spočítá podle rovnice (3.6). Převodový poměr je dán podílem rychlostí motoru a kola.

$$i_{pr} = \frac{\omega_m}{\omega_k} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m}{\omega_k} \quad (3.6)$$

Celkový výkon motoru poháněcí stanice určíme ze vztahu:

$$P = \frac{F_{obv} \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

kde:

F - skutečná přenášená obvodová síla [N]

v – obvodová rychlost [m.s⁻¹]

3.5 Návrh brzdy

Při návrhu brzdy vycházíme z momentu setrvačnosti potřebného pro urychlení posuvných a rotačních hmot přepočtených na hřídeli motoru.

$$M_s = \left[n_e \cdot \frac{2 \cdot (J_p + J_s)}{D_b \cdot \eta} \cdot i_p \right] \cdot \frac{v}{t_r} \quad [\text{N.m}] \quad (3.8)$$

kde:

J_p - moment setrvačnosti převodovky [kg.m²]

J_s - moment setrvačnosti spojky [kg.m²]

D_b - průměr třecího kotouče [m]

i_p - převodový poměr převodovky [-]

v - rychlost dopravy [m.s⁻¹]

t_r - doba rozběhu [s]

$$M'_s = \left(M_s \cdot \frac{t_r}{v} + n_b \cdot \frac{2 J_m}{D_b} \cdot i_p \right) \cdot \frac{v}{t_b} \quad [\text{N.m}] \quad (3.9)$$

kde:

J_m - moment setrvačnosti motoru [kg.m²]

t_b - doba zastavení [s]

Brzdňý moment prozastavení

$$M_b = \frac{1}{n_b} \cdot \left[M_s' - F_{obv} \cdot \frac{D_b}{2} \cdot \frac{\eta_{max}}{i_p} \right] \cdot k_b \quad [\text{N.m}] \quad (3.10)$$

kde:

n_b - počet brzd [-]

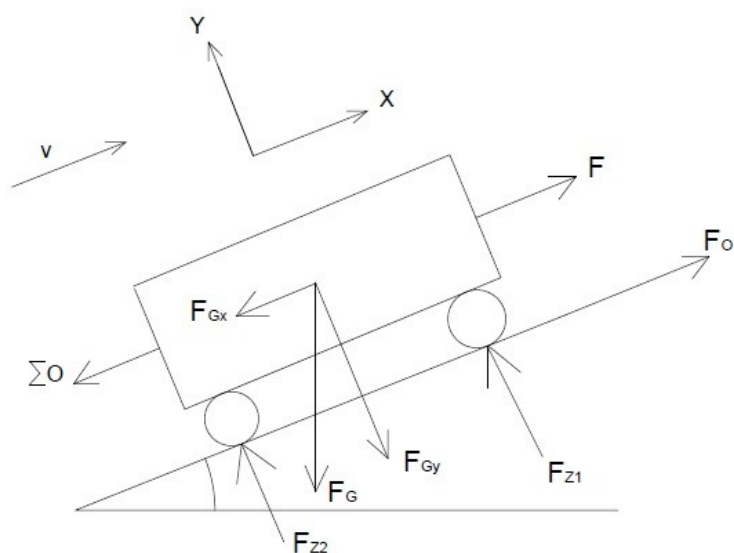
F - obvodová síla [N]

k_b - součinitel bezpečnosti brzdy [-]

4 Výpočet parametrů pohybu vozidel na dopravním úseku

Na každé těleso působí tíhová síla, v našem případě vyjádřena silou F_G , která se při pohybu lanovky ve směru jízdy rozkládá podle souřadného systému na sílu F_{Gx} , která působí jako odpor sklonu a složku F_{Gy} , která působí kolmo na spojnici temen kolejnic.

Odpory jsou vyjádřeny silou ΣO a působí proti pohybu. Lanovka je poháněna tažnou silou F , síla F_o vzniká v místě styku kola a kolejnice. Jako reakce na tíhu nápravy působí síly F_{z1} a F_{z2} ve směru osy y. Celá lanovka se pohybuje do stoupání o velikosti úhlu α .



Obr.č.13: Síly působící při pohybu lanovky

4.1 Výpočet průměru lana

Hodnoty hmotností jsou dosazeny z tabulky č.4

Podle vzorce (2.3) vypočítám hodnotu úhlu stoupání α .

$$\frac{38,3}{108,97} = \sin \alpha = 20,57^\circ$$

Dosazením do rovnice (3.2) vypočítáme sílu v laně, která působí při pohybu lanovky.

Hodnoty součinitele vozidlového odporu A, B, C jsou vzaty ze zdroje:

http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Skr_MvD.pdf

a mají hodnotu $A=1,5 \cdot 10^{-3}$, $B=0$, $C=0,0089 \cdot 10^{-3}$.

Rychlost pohybu lanovky je stanovena na $v_{max} = 3 \text{ m.s}^{-1}$.

$$F_{min} = 3000 \cdot 9,81 \cdot \sin 20,57 +$$

$$2 \cdot 30\,000 \cdot 9,81 \cdot (1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 + 0,0089 \cdot 10^{-3} \cdot 3^2) = 13\,036 \text{ N}$$

Vypočtená síla F_{min} je navýšena o 10 % z důvodu překonávání odporu v poháněcích kladkách.

$$F_{min} = 14\,339 \text{ N}$$

Podle vzorce (4.3) Síla F je vynásobena koeficientem bezpečnosti lana $k_b = 2,5$.

$$\text{Výsledná síla } F = F_{min} \cdot 1,6 = 14\,339 \cdot 1,6 = 22\,942,4 \text{ N}$$

Dle normy ČSN EN 12 385-8 jsem zvolil lano, které má větší únosnost než vypočítaná síla F .

Volím lano o průměru $d = 28 \text{ mm}$, třídy pevnosti 1770 MPa s označením $6 \times 36 \text{ WS}$ a maximální silou přetržení 472 kN .

4.2 Třecí kotouč

Podle vzorce (3.5) bude mít třecí kotouč průměr $D_k = 40 \cdot 28 = 960 \text{ mm}$

Volím třecí kotouč s průměrem 960 mm.

4.3 Výkon poháněcí stanice

Potřebnou obvodovou sílu na třecím kotouči vypočítám podle vzorce (2.11). Hodnota výrazu $e^{f\alpha}$ je dána tabulkou č.5. Součinitel tření f mezi lanem a kotoučem volím 0,3.

Úhel opásání α je roven 180° . Hodnota výrazu bude 2,566.

Tab. č. 5: Hodnoty výrazu při úhlu opásání

ϕ	Hodnoty výrazu při úhlu opásání						
	160°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
0,2	1,747	1,874	2,081	2,311	2,566	2,849	3,165
0,3	2,311	2,566	3	3,469	4,112	4,811	5,635
0,4	3,059	3,511	4,332	4,332	6,586	8,115	10,02
0,5	4,039	4,811	6,249	6,249	10,56	13,7	17,85

$$F_{obv} = 14339 \cdot (2,566 - 1) = 56\,645 \text{ N}$$

Výkon elektromotoru poháněcí stanice vypočítám podle vztahu (2.12)

$$P = \frac{14339 \cdot 3}{1000 \cdot 0,9} = 74,6 \text{ kW}$$

Volím asynchronní motor SIEMENS 1LG4310 - 4AA 6 .

4.4 Návrh pohonu poháněcí stanice

Pro navržený motor je nutno zvolit převodovku a brzdou. Motor pracuje v jmenovitých otáčkách n_m [ot.min⁻¹].

Úhlová rychlost motoru $\omega_m = 2 \cdot \pi \cdot n_m$

Úhlová rychlost třecího kotouče $\omega_k = \frac{v}{r}$

$$\text{Převodový poměr } i_{pr} = \frac{\omega_m}{\omega_k} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_m}{60}}{\frac{v}{r}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \frac{1486}{60}}{\frac{8}{0,48}} = 24,89 \quad [-]$$

Je možno zvolit několik variant převodovek. Převodový poměr volíme nejbližší nižší nebo vyšší podle vypočítaného. Musíme brát v potaz, že podle převodového poměru se zvýší nebo sníží rychlost kola.

Řešení převodovky:

- 1) čelní převodovky s ozubenými koly s $i_{pr}=25$
- 2) dvě čelní převodovky s ozubenými koly- s $i_{pr}=5$
- 3) planetová převodovka

Volím planetovou převodovku BAUMÜLLER 25-60.

4.5 Výpočet brzdy

Doba brzdění a doba rozběhu se pohybuje mezi 5-10 s. Jako hodnotu jsem dosadil t_b a $t_r=10$ s. Moment setrvačnosti převodovky $J_p = 0,24$ [kg.m²]. Maximální účinnost motoru je dána výrobcem a má hodnotu $\eta_{max}=0,94$.

Dosazením do vzorce (3.8) a (3.9) dostaneme hodnotu momentu setrvačnosti pro urychlení rotujících hmot.

$$M_s = \left[1 \cdot \frac{2 \cdot (0,24)}{0,96 \cdot 0,8} \cdot 24,89 \right] \cdot \frac{3}{10} = 4,83 \quad [\text{N.m}]$$

$$M'_s = \left(4.83 \cdot \frac{10}{3} + 1 \cdot \frac{2.1.46}{0.96} \cdot 24.89 \right) \cdot \frac{3}{10} = 360 \quad [\text{N.m}]$$

Dosazením do vzorce (4.10) dostaneme výsledný brzdný moment pro zastavení.

$$M_b = \frac{1}{2} \cdot \left[360 - 14.339 \cdot \frac{0.96}{2} \cdot \frac{0.94}{24.89} \right] \cdot 1.75 = 91,2 \quad [\text{N.m}]$$

5 Provozně technické hodnocení

Pro navržený motor lze vybrat jeho jmenovité otáčky ze dvou variant - 1486 a 2750 [ot.min⁻¹]. Obecně lze říci, že je lepší vybrat motor s nižšími otáčkami. Motor bude pracovat s menším opotřebením. Při spouštění motoru má záběrový proud sedmkrát vyšší hodnotu než proud nominální. Vznikají tak velké rázy. Otáčky rotoru jsou dány hodnotami skluzu, kmitočtem napětí a počtem pólů. Můžeme je regulovat změnou kterékoliv z těchto veličin - změnou skluzu, změnou kmitočtu nebo změnou hodnoty napětí. V případě potřeby zastavení elektromotoru, při jeho prostém odpojení ze sítě, je v motoru naakumulováno velké množství kinetické energie. Potřebný brzdný moment pro zastavení lze vytvořit mechanicky i elektronicky. Brzdný moment můžeme vytvořit protiproudem (změnou smyslu otáčení magnetického pole), generátorickým brzděním nebo brzděním dynamickým. Velký důraz je potřeba klást na návrh lana, které je bezpečnostním prvkem celého systému. Pro brzdný systém jsou zvoleny 2 brzdy s celkovým brzdným momentem $M_b = 180$ [N.m]

Nedílnou součástí každého provozu je i údržba strojních součástí. Nejedná se jen o údržbu poháněcí stanice ve strojovně, ale i o údržbu vozidla a celkovou údržbu traťového úseku z důvodu bezpečnosti. Údržbu je potřeba provádět v pravidelných navržených intervalech podle stanovených postupů a údaje o provedení zaznamenávat.

6 Závěr

V bakalářské práci byla popsána historie nejznámějších pozemních lanových drah u nás, byly popsány charakteristické znaky lanovek a vozidel. Byly stanoveny odpory při pohybu lanovky, vyjmenovány funkce poháněcí stanice, navrženo schéma poháněcí stanice a stanovení provozní charakteristiky poháněcí stanice, které byly zároveň zadáním práce. Bylo navrženo vozidlo lanovky. Dále jsem navrhl a doporučil k použití třecí kotouč, motor poháněcí stanice, převodovku a brzdu. V závěru práce bylo provedeno provozně technické hodnocení.

7 Seznam použité literatury

LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojírenské tabulky*. Praha: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2006. 914 s. Fakulta strojní. ISBN 80-7361-033-7

MÜLLER, Jaroslav; FAMFULÍK, Jan; PALEČEK, Josef. *Mobilní prostředky a trakční zařízení 2. díl*. Ostrava: VŠB-TUO. 2002

POLÁK, Jaromír; PAVLISKA, Jiří; SLÍVA, Aleš. *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: VŠB-TUO

ŠIROKÝ, JAROMÍR. *Mechanika v dopravě I. Kolejová doprava*. Ostrava: VŠB-TUO. 2004

ŠIROKÝ, JAROMÍR. *Mechanika v dopravě II. Příklady*. Ostrava: VŠB-TUO. 2006

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Historický pohled

Obrázek č. 2: Vůz lanovky

Obrázek č. 3: Vůz lanovky na Petřín

Obrázek č. 4: Schéma pohonu třecím kotoučem

Obrázek č. 5: Schéma pohonu lanovým bubnem

Obrázek č. 6: Schematické znázornění odporů

Obrázek č. 7: Odpor sklonu

Obrázek č. 8: Odpor zrychlení

Obrázek č. 9: Schéma poháněcí stanice

Obrázek č. 10: Znázornění obvodové síly na kotouči

Obrázek č. 11: Lana používaná pro lanové dráhy

Obrázek č. 12: Konkrétní příklad situace pro zvolený traťový úsek

Obrázek č. 13: Síly působící při pohybu lanovky

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Parametry lanovky na Letnou

Tabulka č. 2: Parametry lanovky na Petřín

Tabulka č. 3: Parametry lanovky

Tabulka č. 4: Parametry vozidla

Tabulka č. 5: Hodnoty výrazu při úhlu opásání